

Установка «Сохранение механической энергии»

ОБОРУДОВАНИЕ

В КОМПЛЕКТАЦИИ:

1	Набор для моделирования американских горок	ME-9812
2	Оптические ворота PASCO	ME-9498A
1	Смарт-таймер	ME-8930

ВВЕДЕНИЕ

Машинка отпускается с места с нескольких точек треков разной конфигурации (горка, спуск, петля, ровный участок), и скорость машинки на разных позициях трека измеряется оптическими воротами, соединёнными со смарт-таймером. Потенциальная энергия рассчитывается по измеренной высоте, а кинетическая энергия – по скорости. Общая энергия рассчитывается для 2х точек трека, затем эти 2 значения сопоставляются.

Высоту, которой должно быть достаточно, чтобы отпущенная с места машинка прошла петлю, можно определить по сохранённой энергии и центростремительному ускорению. Правильность расчётного значения можно проверить на настоящих американских горках. Если машинку отпустить с верхней точки горки, можно измерить её скорость на верхней точке петли, равно как и центростремительное ускорение и кажущийся вес (нормальную силу).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Общая энергия (E) машинки равна кинетической энергии (K) и потенциальной энергии (U).

$$E = K + U \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

где m является массой машинки, а v – скоростью

$$U = mgh \quad (3)$$

где g является ускорением свободного падения, а h – высотой машинки над точкой, где потенциальная энергия равна 0.

Если трением пренебречь, общая энергия машинки не меняется. Закон сохранения энергии формулируется следующим образом:

$$E = \text{постоянная} \Rightarrow K_{\text{initial}} + U_{\text{initial}} = K_{\text{final}} + U_{\text{final}}$$

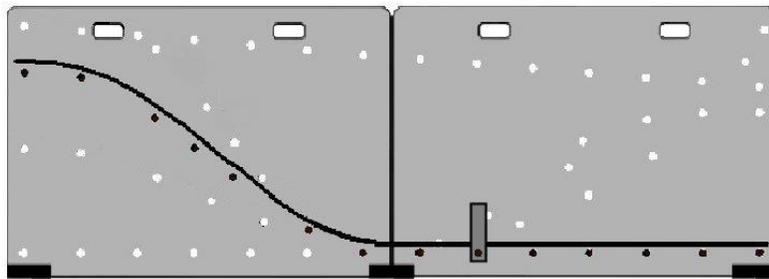
«СПУСК»

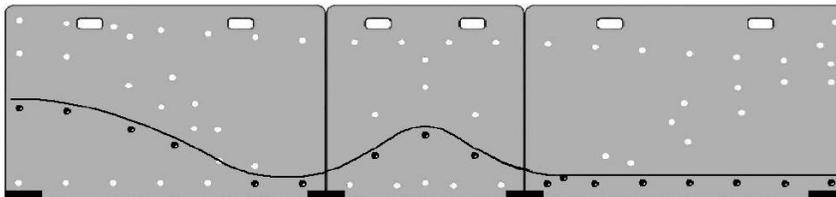
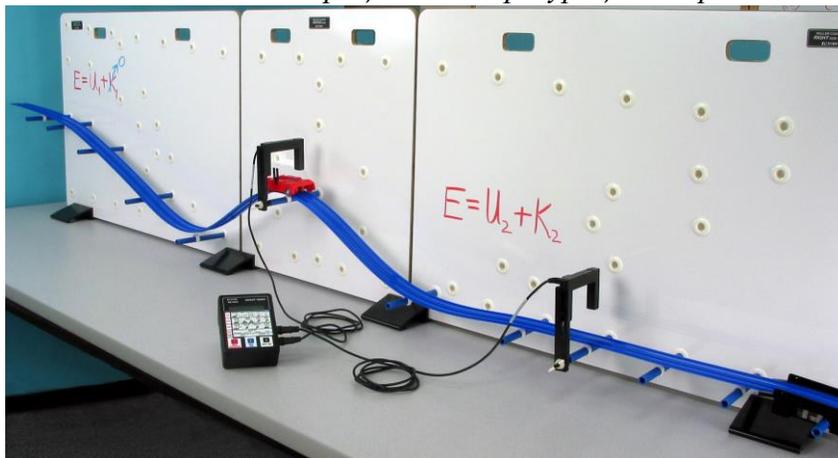
Иллюстрация 1: Конфигурация «Спуск»

1. Соберите трек, как показано на Иллюстрации 1. Закрепите оптические ворота на ровном участке нижней части трека и измерьте скорость машинки после выезда на ровный участок (закрепите ворота на втором штifte слева). На краю ровного участка трека установите ограничитель, чтобы машинка не слетела с трека.
2. Поместите машинку на верхнюю точку спуска слева. На белой доске сделайте отметку стартовой позиции. Измерьте начальную высоту машинки. Измеряйте от стола до центра массы. Обратите внимание, что центр массы примерно находится на прорези, в которую вставляется флажок. Точное расположение центра массы можно определить балансировкой. Измерьте массу машинки.
3. Поместите машинку на нижнюю ровную часть трека и измерьте высоту от стола.
4. Поставьте машинку наверх и отпустите с места. С помощью оптических ворот и смарт-таймера (на таймере выполните следующие настройки скорости: режим «1 оптические ворота») измерьте скорость машинки внизу спуска.
5. Рассчитайте начальную общую энергию машинки.
6. Рассчитайте окончательную общую энергию вагонетки.
7. Сколько энергии потеряно? Куда исчезла энергия?
8. Рассчитайте КПД по формуле «Потерянная Энергия / Начальная Энергия»

$$\% \text{ потерянной энергии} = \frac{\text{Потерянная энергия}}{\text{Начальная энергия}}$$
9. Положите на машинку груз 50 г, повторите шаги 2-8.

ВОПРОСЫ

1. Как при увеличении массы машинки меняется общая энергия?
2. Как при увеличении массы машинки меняется скорость в нижней части трека?
3. При дополнительной массе машинка утрачивает больше энергии?

«ГОРКА»*Иллюстрация 2: Конфигурация «Горка»**Иллюстрация 3: Горка и оптические ворота*

1. Сконфигурируйте трек, как показано на Иллюстрациях 2 и 3. Оптические ворота установите на верхней точке горки и на ровном участке ниже. На краю ровного участка установите ограничитель, чтобы машинка не слетела с трека.
2. Поместите машинку на верхнюю точку горки слева. На белой доске отметьте точку, с которой вы отпускаете машинку с места. Измерьте исходную высоту машинки: измерения выполняйте от стола до центра машинки.
3. Поместите машинку на верхнюю часть (пик) малой горки в центре и измерьте её высоту.
4. Поместите машинку на ровную нижнюю часть трека, измерьте высоту от стола.

5. Поставьте машинку наверх и отпустите с места. Используйте смарт-таймер (настройки скорости: режим 2 «оптических ворот») для измерения скорости машинки на верхней точке центральной горки и внизу.
6. Рассчитайте начальную общую энергию машинки.
7. Рассчитайте общую энергию машинки на верхней точке горки в центре.
8. Сколько энергии потеряно? Куда она исчезла?
9. Рассчитайте КПД по формуле «Потерянная Энергия / Начальная Энергия»

$$\% \text{ потерянной энергии} = \frac{\text{Потерянная энергия}}{\text{Начальная энергия}}$$
10. Рассчитайте общую энергию машинку в нижней части трека. Рассчитайте % потерянной общей энергии между стартовой позицией слева и позицией остановки справа.

ВОПРОСЫ

1. По скорости машинки на верхней точке горки в центре рассчитайте значение нормальное ускорение и вес машинки в верхней точке. Вам понадобится определить радиус круга, соответствующего изгибу горки (для этого нарисуйте круг на белой доске).
2. С какой скоростью должна двигаться машинка, чтобы вес машинки в верхней точке горки равнялась 0? С точки на какой высоте следует отпустить машинку с места, чтобы это было возможно?

«ПЕТЛЯ»

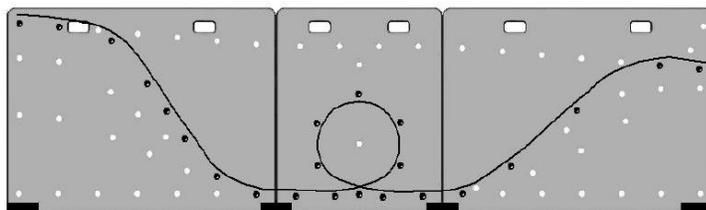


Иллюстрация 4: Конфигурация «Петля»

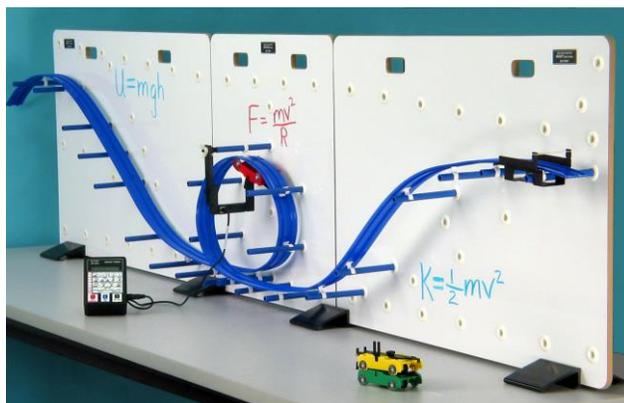
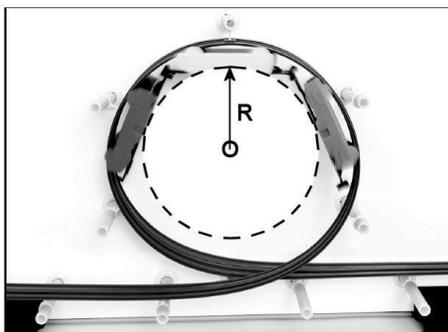


Иллюстрация 5: Положение оптических ворот

1. Соберите трек, как показано на иллюстрациях 4 и 5. Оптические ворота закрепите на верхней точке петли. С краю установите ограничитель, чтобы машинка не слетела с трека.
2. В центре петли установите штифт. Поместите машинку на верхнюю точку петли. Отметьте положение центра массы машинки на белой доске. Измерьте расстояние от центра штифта до центра массы машинки на верхней точке петли (См. Иллюстрацию 6).

*Иллюстрация 6: Радиус петли*

3. Измерьте расстояние от центра массы машинки на верхней точке петли до стола.
4. Используя набор, рассчитайте минимальную высоту, с которой нужно отпустить машинку на левом краю трека, чтобы та проехала по всей петле.
5. Проведите горизонтальную линию от верха круга, который вы начертили для петли, к левой части трека. От этой линии отметьте исходную позицию, рассчитанную в шаге 4.
6. Поместите центр массы машинки на отмеченную расчётную позицию и отпустите машинку с места.

ВОПРОСЫ

1. Проходит ли машинка петлю? Если нет, то почему? Если да, то проходит ли она только саму петлю, или вы отпустили машинку со слишком высокой точки?
2. После того, как вы определили позицию, с которой отпущенная с места машинка проходит петлю, установите и отметьте максимальную высоту в правой части трека. Где, по идее, должна находиться эта позиция? Насколько выше / ниже эта позиция находится от начерченной (шаг 5) горизонтальной линии? На основании потерь высоты от стартовой позиции рассчитайте % потерянной энергии.

КПД = «Потерянная Энергия / Начальная Энергия»

$$\% \text{ потерянной энергии} = \frac{\text{Потери высоты}}{\text{Стартовая высота}}$$

«ТРИ МАШИНКИ»

- Следующий эксперимент проводится с тем же треком, который представлен на иллюстрациях 4 и 5. Закрепите оптические ворота непосредственно над верхней точкой петли. Удерживайте машинку на этой верхней точке, отрегулируйте ворота (движениями вверх-вниз) так, чтобы флажок их перекрывал. Внимание: флажок должен находиться в таком положении, чтобы машинка могла проходить через ворота.
- Соедините 3 машинки друг с другом, как показано на Иллюстрации 7.

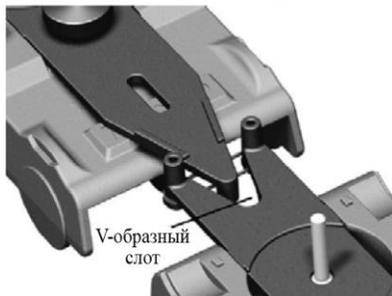


Иллюстрация 7: Соединение машинок

- На каждую машинку установите флажок (Иллюстрация 8).
- Выполните следующие настройки смарт-таймера = время: режим «ограждение». Измерьте скорость каждой машинки на верхней точке петли.
- Для включения таймера нажмите клавишу #3. Соединённые между собой машинки (3 шт.) поставьте на верх горки слева и отпустите с места.

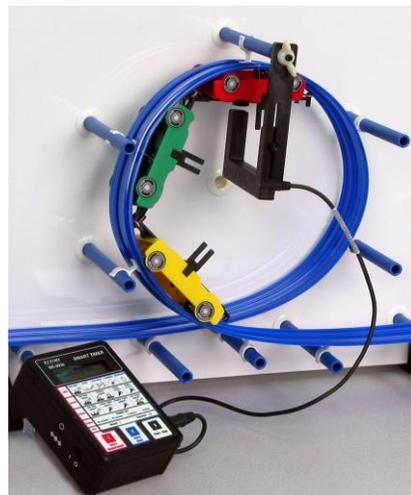


Иллюстрация 8: Машинки с флажками

- После того, как машинки пройдут через петлю, нажмите на смарт-таймере кнопку #3 и остановите счет времени. Сначала отобразится значение времени между моментами, когда флажок первой машинки перекрывал оптические ворота. См. иллюстрацию 9. Выполните эту процедуру несколько раз, многократно нажимая #2.

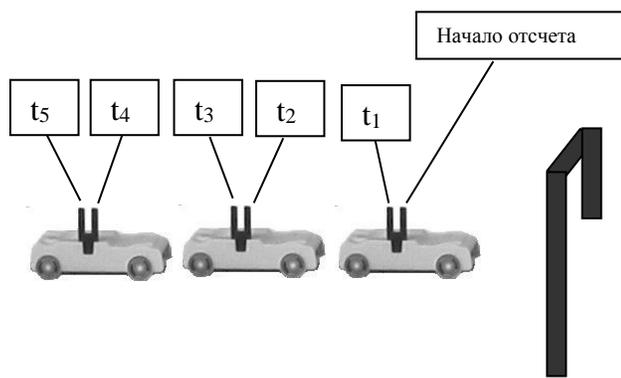


Иллюстрация 9: отсчет времени с помощью оптических ворот

Ворота

Второе и третье время – это время, когда флажок второй машинки перекрывает оптические ворота. Разница между ними составит время прохождения флажка второй машинки. Четвёртое и пятое время – это время перекрывания оптических ворот флажком третьей машинки. Рассчитайте скорость каждой машинки по расстоянию между элементами флажка (1 см):

$$v = \frac{x}{\Delta t} = \frac{1\text{cm}}{\Delta t}$$

ВОПРОСЫ

1. Какая машинка движется быстрее всех на верхней точке петли? Учитывая сохранение энергии, почему каждая машинка может иметь разную скорость на верхней точке петли?
2. Какая из машинок имеет наименьший вес в верхней точке?
3. Чем отличается восприятие поездки пассажирами первой и последней машин?

«ВЫСОКАЯ ДОРОГА» / «НИЗКАЯ ДОРОГА»

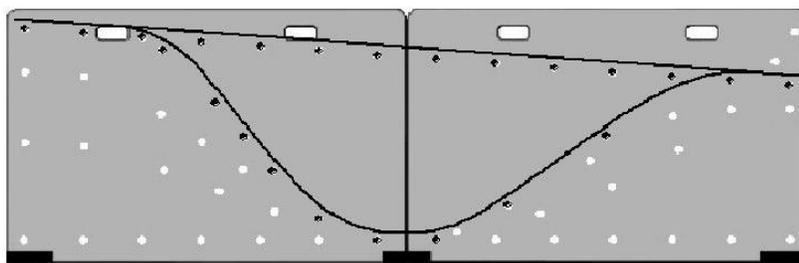


Иллюстрация 10: Конфигурация «высокая дорога» / «низкая дорога»

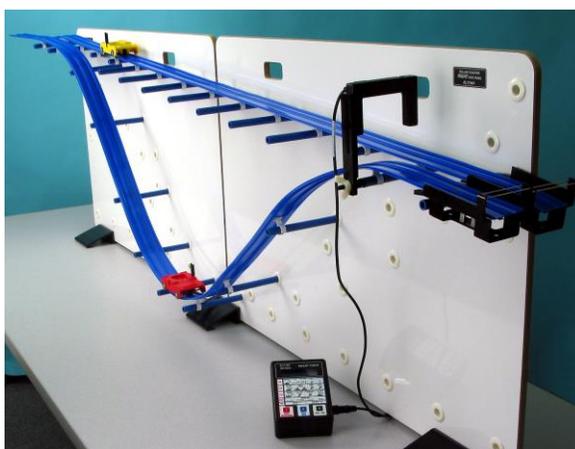


Иллюстрация 11: Размещение оптических ворот

1. Соберите 2 трека так, как показано на иллюстрациях 10 и 11. Зафиксируйте оптические ворота в той точке, где оба трека сходятся в один, справа (Иллюстрация 11). Установите ограничитель. На каждую машинку установите флажок – как можно ближе к другой машинке, чтобы оба флажка перекрывали оптические ворота.
2. Если обе машинки отпустить с места в левой части каждого трека одновременно, как вы думаете, какая машинка доедет до края трека справа первой? Проверьте своё предположение.
3. Сделайте прогноз: у какой машинки будет большая скорость с правого края трека?
4. Выполните следующие настройки смарт-таймера = скорость: режим «столкновение». Нажмите кнопку #3. Обе машинки разместите с левого края трека и отпустите их с места.
5. После того, как машинки пройдут через оптические ворота, нажмите на смарт-таймере #3 для остановки тайминга. Отобразится скорость машинок.

ВОПРОСЫ

1. У какой машинки скорость с правого края трека выше? Как можно объяснить результат с помощью закона сохранения энергии?
2. Какая машинка доезжает до края трека первой? Почему?